



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 197 53 494 A 1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
H 01 L 21/20  
H 01 L 21/324

21 Aktenzeichen: 197 53 494.5  
22 Anmeldetag: 2. 12. 97  
43 Offenlegungstag: 1. 10. 98

DE 197 53 494 A 1

30 Unionspriorität:  
9-080939 31. 03. 97 JP  
71 Anmelder:  
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP  
74 Vertreter:  
Prüfer und Kollegen, 81545 München

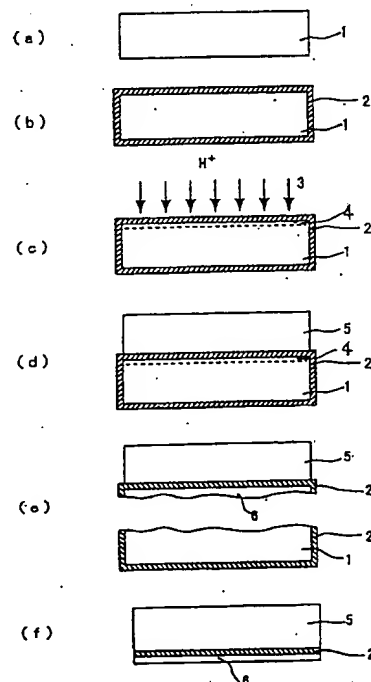
72 Erfinder:  
Yamamoto, Hidekazu, Tokio/Tokyo, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers und dadurch hergestellte Siliziumwafer

57 Ein Siliziumwafer mit einer SOI-Struktur wird ausgebildet, der eine Oberfläche aufweist, die frei von der nachteiligen Wirkung eines chemisch-mechanischen Polierens ist. Anfänglich werden Wasserstoffionen in die Oberfläche eines Siliziumwafers (1) implantiert, um dadurch eine Schicht (4) mit implantiertem Wasserstoff auszubilden. Dann wird der Siliziumwafer so erwärmt, daß die Siliziumoberflächenschicht an der Schicht mit implantiertem Wasserstoff abschält. Der Siliziumwafer wird dann in einer Wasserstoffatmosphäre wärmebehandelt, um dadurch die Oberfläche zu glätten, die durch das Abschälen freigelegt worden ist. Die Wärmebehandlung kann durch eine Plasma-Wärmebehandlung in Wasserstoff oder durch ein schnelles thermisches Glühen ersetzt werden.



DE 197 53 494 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers und auf einen Siliziumwafer, der dadurch hergestellt ist, und sie ist insbesondere anwendbar bezüglich eines Siliziumwaferherstellungsverfahrens und eines entsprechenden Siliziumwafers mit einer SOI-Struktur (SOI = Silicon on Insulator = Silizium auf Isolator), die stark zu hochintegrierten Halbleitervorrichtungen, die bei hohen Geschwindigkeiten mit niedrigem Stromverbrauch betrieben werden, beiträgt.

Es sind verschiedene Verfahren zur Herstellung von SOI-Wafern vorgeschlagen worden. Das vielversprechendste Verfahren unter diesen ist das Smart-Cut-Verfahren (siehe Electronics Letters, 31 (1995), 1201).

Bei dem Smart-Cut-Verfahren wird ein Siliziumwafer zur Ausbildung einer Siliziumoxidschicht auf diesem erwärmt. Dann wird eine Wasserstoffionenimplantation durch die Siliziumwaferoberfläche ausgeführt, um dadurch eine Schicht mit implantierten Wasserstoff auszubilden. Dann wird ein Basis-Wafer an die Seite des Siliziumwafers gebondet, d. h. mit dieser verbunden, die nahe der Schicht mit implantierten Wasserstoff ist. Die beiden verbundenen Siliziumwafer werden dann erwärmt, wodurch sich die Siliziumwaferoberfläche an der Schicht mit implantierten Wasserstoff abtrennt, was zu einer dünnen Siliziumschicht führt, die an den Basis-Wafer (Substrat) gebondet, d. h. mit diesen verbunden ist. Die dünne Siliziumschicht weist winzige Oberflächenunregelmäßigkeiten auf, die durch chemisch-mechanisches Polieren geglättet werden, was den gewünschten SOI-Wafer ergibt.

Es ist kürzlich berichtet worden, daß das chemisch-mechanische Polieren die charakteristischen Eigenschaften und die Ausbeute bei Halbleitervorrichtungen stark beeinflusst (siehe H. Yamamoto et al., Proceeding of The 2nd International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials, (1996), S. 425).

Probleme mit dem Defekte verursachenden Polieren von Siliziumwafern sind auch bei den Wafern mit SOI-Struktur, die durch das oben erwähnte Smart-Cut-Verfahren hergestellt werden, unvermeidlich, und sie beeinträchtigen die charakteristischen Eigenschaften und die Ausbeute bei Halbleitervorrichtungen nachteilig.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die oben erwähnten Probleme bei der herkömmlichen Technologie zu beseitigen und ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterwafers und einen Halbleiterwafer, jeweils mit einer SOI-Struktur, die frei von Oberflächendefekten ist, anzugeben.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1 oder 6 bzw. einen Siliziumwafer nach Anspruch 8.

Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Nach einem Aspekt werden bei einem Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers Wasserstoffionen durch eine Hauptoberfläche eines Siliziumwafers, der eine darauf ausgebildete Siliziumoxidschicht aufweist, implantiert, um eine Schicht mit implantierten Wasserstoff auszubilden. Dann wird ein Substrat an die Oberfläche des Siliziumwafers gebondet. Der Siliziumwafer wird dann erwärmt, was die Oberflächenseite dazu bringt, an der Schicht mit implantierten Wasserstoff abzuschälen bzw. sich abzutrennen. Dann wird der Teil des Siliziumwafers, der an das Substrat gebondet ist, in einer Wasserstoffatmosphäre wärmebehandelt bzw. geglättet, um dadurch die Oberfläche des Wafers, die durch das Abschälen freigelegt wurde, zu glätten.

Bei dem Prozeß zum Herstellen eines Siliziumwafers wird das Glühen bzw. die Wärmebehandlung bevorzugterweise durch Erwärmen auf ungefähr 1050°C bis ungefähr

1350°C ausgeführt. Alternativ wird das Wärmebehandeln bzw. Glühen bevorzugterweise mit der Hilfe eines Plasmas in einer Wasserstoffatmosphäre ausgeführt.

Bei einem anderen Aspekt wird in dem Prozeß zum Herstellen eines Siliziumwafers das Glühen bzw. die Wärmebehandlung bevorzugter Weise durch schnelles thermisches Glühen (RTA) ausgeführt. In dem Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers wird das Glühen bzw. die Wärmebehandlung bevorzugterweise ausgeführt, nachdem die Oberfläche, die durch das Abschälen freigelegt worden ist, chemisch-mechanisch poliert worden ist.

Entsprechend eines anderen Aspektes werden in einem Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers Wasserstoffionen durch eine Oberfläche eines Siliziumwafers, der eine darauf ausgebildete Siliziumoxidschicht aufweist, implantiert, um dadurch eine Schicht mit implantierten Wasserstoff auszubilden. Dann wird ein Substrat an die Oberfläche des Siliziumwafers gebondet bzw. mit dieser verbunden. Der Siliziumwafer wird dann erwärmt, um dadurch die Oberflächenseite dazu zu bringen, an der Schicht mit implantierten Wasserstoff abzuschälen bzw. sich abzutrennen. Dann wird ein epitaxiales Wachstum von Silizium auf der Oberfläche des Wafers, die durch das Abschälen freigelegt worden ist, ausgeführt, um dadurch eine neue glatte Oberfläche darauf auszubilden.

Bei dem Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers wird das epitaxiale Wachstum von Silizium bevorzugterweise in Trichlorosilan ( $\text{SiHCl}_3$ ), Dichlorosilan ( $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ), Monochlorosilan ( $\text{SiH}_3\text{Cl}$ ), oder Monosilan ( $\text{SiH}_4$ ) bei ungefähr 800°C oder darüber ausgeführt.

Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Von den Figuren zeigen:

Fig. 1(a) bis 1(f) schematische Schnittansichten, die das Herstellungsverfahren eines SOI-Wafers entsprechend der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 einem Glühofen zum Glühen eines Siliziumwafers in einer Wasserstoffatmosphäre;

Fig. 3(a) bis 3(c) das Neuordnungungsverfahren von Siliziumatomen in der Oberfläche eines Siliziumwafers;

Fig. 4 eine Schnellglühvorrichtung zum Glühen eines Siliziumwafers mit einer SOI-Struktur entsprechend einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 eine Plasmaglühvorrchtung zum Glühen eines Siliziumwafers mit einer SOI-Struktur entsprechend einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 eine Vorrichtung für ein epitaxiales Aufwachssystem für einen Siliziumwafer mit einer SOI-Struktur entsprechend einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 7 eine Schnittansicht eines Siliziumwafers mit einer SOI-Struktur entsprechend einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden unter Bezugnahme auf die Figuren beschrieben, in denen die gleichen Bezugszeichen die gleichen oder entsprechende Teile bezeichnen.

## 1. Ausführungsform

Der SOI-Wafer entsprechend Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird durch die Schritte hergestellt, die in schematischen Schnittansichten in den Fig. 1(a) bis 1(f) gezeigt sind.

Das Verfahren beginnt mit dem Vorbereiten eines Siliziumwafers 1, der in Fig. 1(a) gezeigt ist. Der Siliziumwafer 1 wird thermisch oxidiert zur Ausbildung einer Siliziumoxidschicht 2, wie es in Fig. 1(b) gezeigt ist. Eine Wasserstoffio-

nenimplantation ( $2 \times 10^{16}$  bis  $1 \times 10^{17}$  Atome/cm<sup>2</sup>) wird in einer Oberfläche des Siliziumwafers ausgeführt, um eine Schicht 4 mit implantierten Wasserstoff auszubilden, wie es in Fig. 1(c) gezeigt ist. Ein zweiter Siliziumwafer 5 (als ein Basis-Wafer) oder irgend ein anderes passendes Substrat 5 werden an die Oberfläche des Siliziumwafers gebondet, d. h. mit dieser verbunden, in die die Wasserstoffimplantation ausgeführt worden ist, wie es in Fig. 1(d) gezeigt ist.

Der Siliziumwafer 1 wird dann auf ungefähr 400°C bis ungefähr 600°C erwärmt, so daß seine äußere Schicht an der Schicht 4 mit implantierten Wasserstoff abschält bzw. sich abtrennt, wie es in Fig. 1(e) gezeigt ist, was einen Siliziumwafer 7 mit einer SOI-Struktur ergibt, die ein Substrat 5 und eine dünne Siliziumschicht 6, die daran gebondet ist, aufweist. Die dünne Siliziumschicht 6 wird durch chemisch-mechanisches Polieren geglättet, um ihre Oberflächenunregelmäßigkeiten von ungefähr 20 nm zu entfernen, wie es in Fig. 1(f) gezeigt ist.

Die oben erwähnten Schritte sind dieselben wie diejenigen des Smart-Cut-Verfahrens.

Der Siliziumwafer 7 wird in einer Wasserstoffatmosphäre unter Verwendung eines Glühofens geglättet bzw. wärmebehandelt, wie es in Fig. 2 gezeigt ist. Die Siliziumwafer 7, die zu glühen bzw. mit Wärme zu behandeln sind, werden durch einen Waferhalter 8, der in einem Ofengehäuse 9 platziert ist, gehalten. Das Ofengehäuse 9 weist einen Wasserstoffeinlaß an seiner Oberseite und einen Auslaß an seinem Boden auf.

Unter Verwendung dieses Glühofens wird der Siliziumwafer 7 in der Stufe aus Fig. 1(e) in einer Wasserstoffatmosphäre bei ungefähr 1050°C bis ungefähr 1350°C für einige 10 Sekunden bis einige 10 Minuten wärmebehandelt. Die Wärmebehandlung ergibt den Siliziumwafer 7 mit einer glatten Oberfläche, wie es in Fig. 1(f) gezeigt ist. Die Glüh-temperatur sollte in dem Bereich von ungefähr 1050°C bis ungefähr 1350°C sein, um eine stabile Bearbeitung, einen verbesserten Durchsatz und eine verbesserte Waferqualität zu erhalten. Eine Wärmebehandlung bei Temperaturen, die niedriger als ungefähr 1050°C liegen, wird eine lange Zeit benötigen, und eine Wärmebehandlung bei Temperaturen, die höher als ungefähr 1350°C sind, wird das Silizium schmelzen.

Ein Glühen bzw. ein Erwärmen in einer Wasserstoffatmosphäre glättet die Oberfläche des Siliziumwafers durch die Neuordnung der Siliziumatome in der Oberfläche, was in Fig. 3 schematisch illustriert ist. Fig. 3(a) ist eine vergrößerte schematische Schnittansicht der Oberfläche des Siliziums vor der Wärmebehandlung. Ein Erwärmen in einer Wasserstoffatmosphäre aktiviert die Oberfläche des Siliziums, wie es in Fig. 3(b) gezeigt ist. Die aktivierten Siliziumatome bewegen sich in der Oberfläche herum, bis sie energetisch stabil werden bzw. in eine energetisch stabile Lage kommen, was in der Oberfläche resultiert, die in Fig. 3(c) gezeigt ist.

Eine Wärmebehandlung nach der Stufe aus Fig. 1(e) ergibt einen Siliziumwafer, der frei von der nachteiligen Wirkung des chemisch-mechanischen Polierens ist.

Alternativ kann der Siliziumwafer in der Stufe aus Fig. 1(e) zuvor einem optionalen chemisch-mechanischen Polieren in einem angemessenen Ausmaß unterliegen. Dieses chemisch-mechanische Polieren vereinfacht und beschleunigt das Glühen in einer Wasserstoffatmosphäre. Der resultierende Siliziumwafer ist frei von der nachteiligen Wirkung des chemisch-mechanischen Polierens.

## 2. Ausführungsform

Entsprechend dieser Ausführungsform wird ein Siliziumwafer mit SOI-Struktur unter Verwendung einer Schnell-

glühvorrichtung, die in Fig. 4 gezeigt ist, hergestellt. Die Glühvorrichtung besteht aus einer Aufnahme 10 zum Halten des zu glühenden Siliziumwafers 7, einer transparenten Kammer 11 und Infrarot-Heizlampen 12. Die Kammer 11 weist einen Wasserstoffeinlaß an der linken Seite und einen Auslaß an der rechten Seite auf.

Anders als bei dem Stapelbetrieb der ersten Ausführungsform erlaubt das Glühen bei dieser Ausführungsform eine Einzelwafer-Verarbeitung durch schnelles thermisches Glühen, bei der der Siliziumwafer mit Wärmestrahlung für eine kurze Zeit bestrahlt wird. Die Quelle der Wärmestrahlung können Halogenlampen, Bogenlampen oder Xenon-Blitzlampen sein. Dieses Glühen bzw. diese Wärmebehandlung kann bei dem Siliziumwafer 7, der in der ersten Ausführungsform vorbereitet wurde, angewendet werden. Der Vorteil des schnellen Glühens ist eine einfache Prozeßsteuerung.

## 3. Ausführungsform

Entsprechend dieser Ausführungsform wird ein Siliziumwafer mit einer SOI-Struktur unter Verwendung einer Plasma-Glühvorrichtung hergestellt, wie sie in Fig. 5 gezeigt ist. Die Glühvorrichtung besteht aus einem Paar von Elektroden 13, zwischen denen der Siliziumwafer 7 gehalten wird, einer Kammer 14, einem Hochfrequenzgenerator (Radiofrequenzgenerator) 15 und einem Kondensator 16. Die untere Elektrode wird durch eine Heizeinheit (nicht gezeigt) auf hundertsten von Grad gehalten. Die Kammer 14 weist einen Wasserstoffeinlaß auf der linken Seite und einen Auslaß an der rechten Seite auf. In diesem Fall wird Plasmawasserstoff durch Hochfrequenzleistung erzeugt. Es ist möglich, ein Plasma durch Verwenden von ECR (Electron-Cyclotron Resonance = Elektronen-Cyclotron-Resonanz) oder Verwendung eines Lichtstrahles zu erzeugen. Dieses Glühen kann bei dem Siliziumwafer 7, der in der ersten Ausführungsform vorbereitet wird, angewendet werden.

Anders als bei der Wärmebehandlung in der ersten und der zweiten Ausführungsform, die bei einer hohen Temperatur in Wasserstoff ausgeführt worden ist, wird die Wärmebehandlung bei dieser Ausführungsform in einem Plasma ausgeführt. Der Vorteil der Wärmebehandlung in einem Plasma ist der, daß die Wärmebehandlungstemperatur niedrig ist, wobei sie in einem Bereich von ungefähr Raumtemperatur bis ungefähr 600°C liegt. Eine Wärmebehandlung bei dieser Ausführungsform benötigt eine kürzere Zeit als diejenige bei der ersten Ausführungsform, wodurch die Prozeßsteuerung erleichtert und eine Kontamination reduziert wird.

## 4. Ausführungsform

Entsprechend dieser Ausführungsform wird ein Siliziumwafer mit einer SOI-Struktur unter Verwendung eines epitaxialen Wachstumssystems hergestellt, wie es in Fig. 6 gezeigt ist. Das epitaxiale Wachstumssystem besteht aus einem Halter 17 zum Halten und Drehen des Siliziumwafers 7 für ein epitaxiales Wachstum, einer Hochfrequenzspule (Radiofrequenzspule) 18 und einer Kammer 19. Die Kammer 19 weist einen Wasserstoffeinlaß in Zentrum und Auslässe an der rechten und linken Seite auf.

Anders als bei der ersten Ausführungsform, bei der ein Abschälen des Wafers durch eine Wärmebehandlung in Wasserstoff gefolgt wird, ist diese Ausführungsform so entworfen, daß das epitaxiale Wachstum des Siliziums auf der abgeschälten Oberfläche ausgeführt wird, die freigelegt worden ist nachdem die dünne Siliziumschicht 6 an der Schicht 4 mit implantiertem Wasserstoff in der Stufe aus Fig. 1(e) abgeschält worden ist. Das epitaxiale Wachstum

des Siliziums bildet eine Oberfläche, wie es in Fig. 7 gezeigt ist. Das epitaxiale Wachstum des Siliziums wird in Trichlorosilan ( $\text{SiHCl}_3$ ), Dichlorosilan ( $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ), Monochlorosilan ( $\text{SiH}_3\text{Cl}$ ) oder Monosilan ( $\text{SiH}_4$ ) bei 800°C oder darüber ausgeführt. Das epitaxiale Wachstum bildet eine Siliziumschicht, die frei von Defekten ist. Diese epitaxiale Wachstum kann auf den Siliziumwafer 7, der in der ersten Ausführungsform vorbereitet worden ist, angewendet werden.

Der Verfahrensablauf in dieser Ausführungsform bietet den Vorteil des Reduzierens der nachteiligen Wirkung des chemisch-mechanischen Polierens und des Ermöglichens einer leichten Steuerung der Dicke der Siliziumschicht 6 des Siliziumwafers.

Wie oben erwähnt worden ist, die vorliegende Erfindung liefert einen Siliziumwafer mit einer SOI-Struktur mit einer Oberflächenschicht mit gewünschten Eigenschaften, der frei von der nachteiligen Wirkung des chemisch-mechanischen Polierens ist.

Offensichtlich sind verschiedene zusätzliche Modifikationen und Variationen im Lichte der obigen Lehren möglich. Es ist daher klar zu verstehen, daß die vorliegende Erfindung auch anders als es in der obigen Beschreibung spezifisch beschrieben worden ist, ausgeführt werden kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Siliziumwafers (6), das die Schritte aufweist:  
Implantieren von Wasserstoffionen durch eine Hauptoberfläche eines Siliziumwafermaterials (1), das eine darauf ausgebildete Siliziumoxidschicht (2) aufweist, um dadurch eine Schicht (4) mit implantierten Wasserstoff auszubilden,  
Bonden eines Substrates (5) an die Oberfläche des Siliziumwafermaterials (1),  
Erwärmen des Siliziumwafermaterials (1), um dadurch die Oberflächenseite dazu zu bringen, an der Schicht (4) mit implantierten Wasserstoff abzuschälen, und  
Erwärmen des Teils (6) des Siliziumwafers, der an das Substrat (5) gebondet ist, in einer Wasserstoffatmosphäre, um dadurch die Oberfläche des Wafers (6) die durch das Abschälen freigelegt worden ist, zu glätten.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Glühen durch Erwärmen bei 1050 bis 1350°C ausgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Erwärmen mit der Hilfe von Plasma in einer Wasserstoffatmosphäre ausgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Erwärmen durch schnelles thermisches Glühen ausgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das Erwärmen nach einem chemisch-mechanischen Polieren der Oberfläche, die durch das Abschälen freigelegt worden ist, ausgeführt wird.
6. Verfahren zum Herstellen eines Siliziumwafers (6), das die Schritte aufweist:  
Implantieren von Wasserstoffionen durch eine Oberfläche eines Siliziumwafermaterials (1), das eine Siliziumoxidschicht (2), die darauf ausgebildet ist, aufweist, um dadurch eine Schicht (4) mit implantierten Wasserstoff auszubilden,  
Bonden eines Substrates (5) an die Oberfläche des Siliziumwafermaterials (1),  
Erwärmen des Siliziumwafermaterials (1), um dadurch die Oberflächenseite dazu zu bringen, an der Schicht (4) mit dem implantierten Wasserstoff abzuschälen, und  
Ausführen eines epitaxialen Wachstums von Silizium auf der Oberfläche des Wafers (6), die durch das Ab-

schälen freigelegt ist, um dadurch eine neue glatte Oberfläche auf dieser auszubilden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem das epitaxiale Wachstum des Siliziums in Trichlorosilan ( $\text{SiHCl}_3$ ), Dichlorosilan ( $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ), Monochlorosilan ( $\text{SiH}_3\text{Cl}$ ) oder Monosilan ( $\text{SiH}_4$ ) bei 800°C oder darüber ausgeführt wird.

8. Siliziumwafer, der durch das Verfahren hergestellt ist, das durch irgendeinen der Ansprüche 1 bis 7 definiert ist.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

FIG. 1

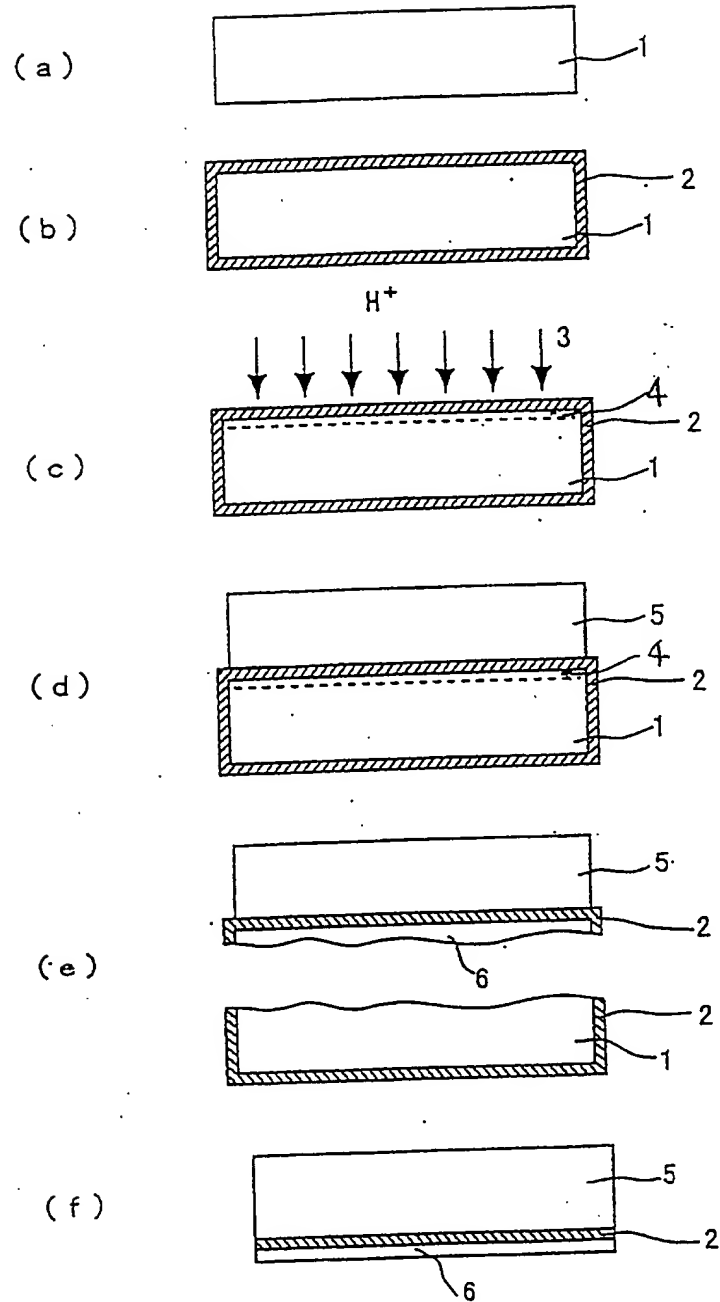


FIG.2

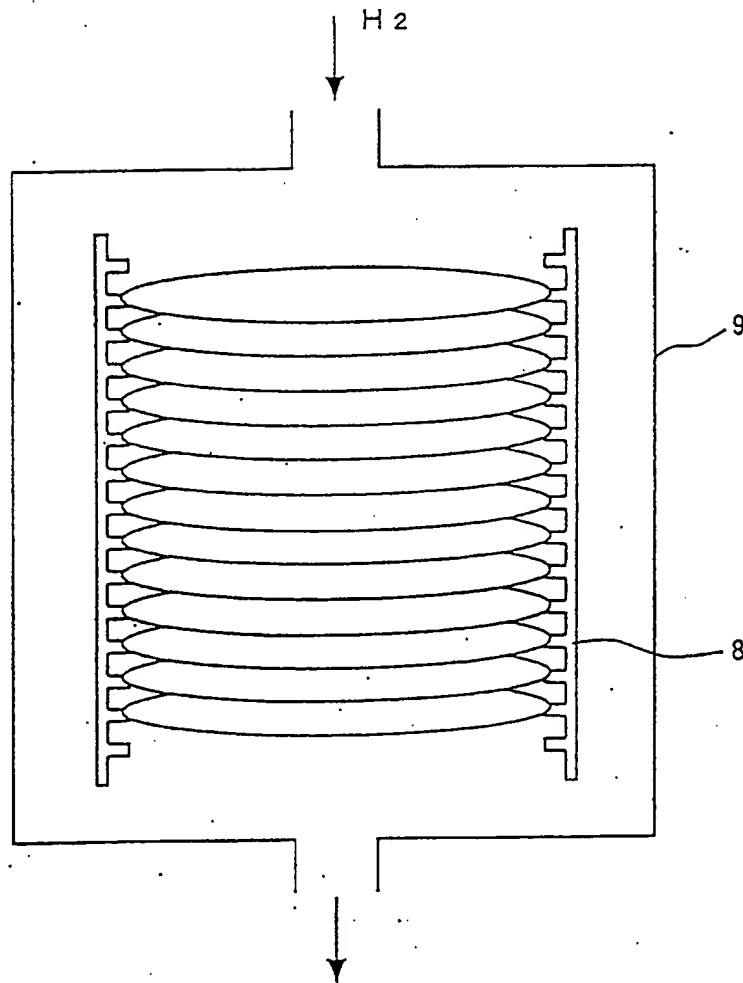


FIG.3

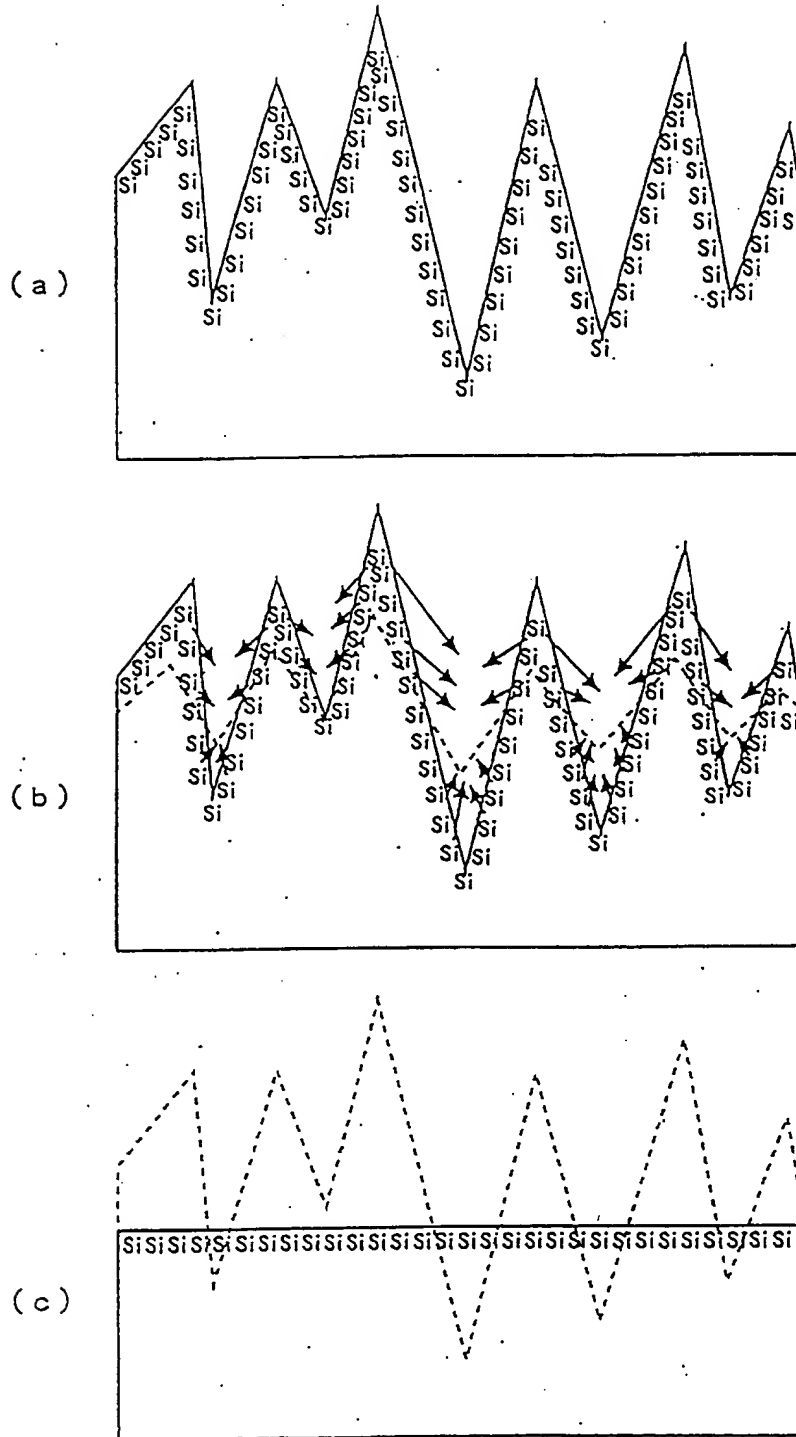




FIG.4

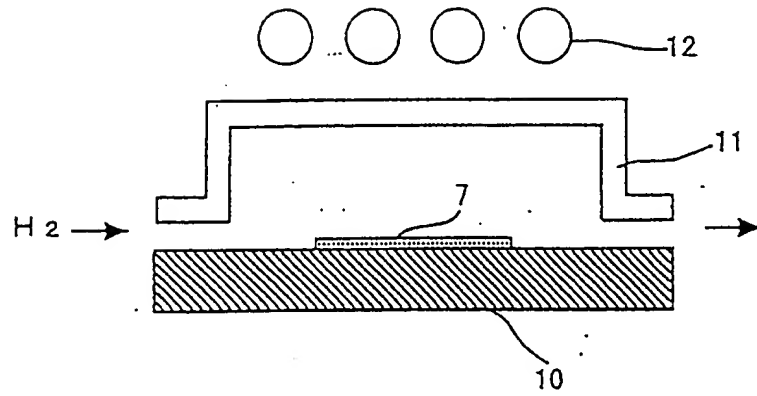


FIG.5

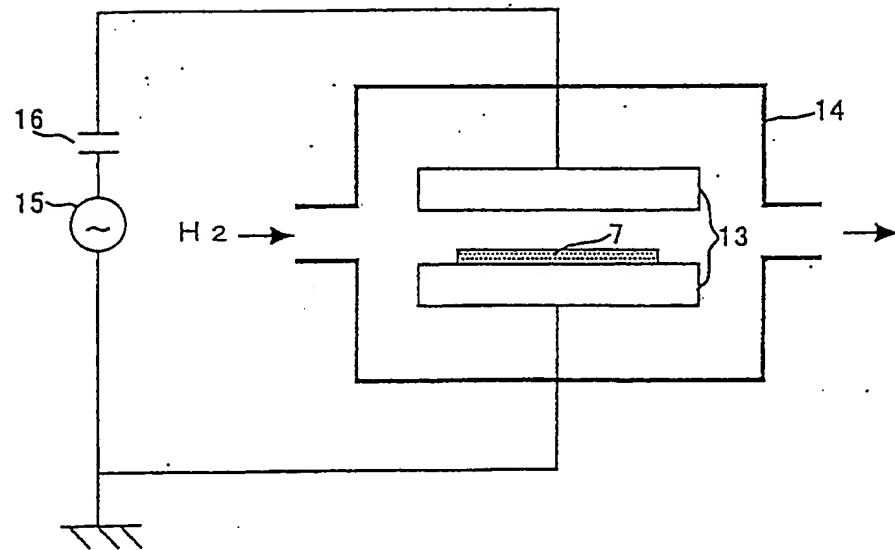


FIG.6

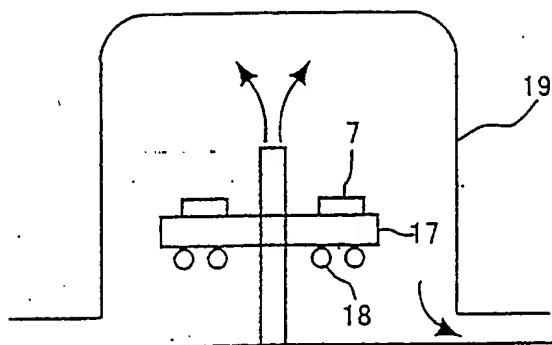


FIG.7

